

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПИРИТОВ
НЕКОТОРЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

А. Я. ПШЕНИЧКИН

(Представлена профессором А. М. Кузьминым)

С. И. Голосов (1939) впервые обратил внимание на наличие у пиритов термоэлектрических свойств и на возможность использования термоэлектрического эффекта для диагностики минералов. В дальнейшем Ф. Смит, (F. Smith, 1947), Г. А. Горбатов (1957), Г. И. Князев, В. К. Куделя (1969), Прохоров (1966, 1970) и др. разработали методику определения ТЭДС в пиритах и некоторых других полупроводниковых сульфидах и выявили возможность применения термоэлектрических свойств пиритов при металлогенических исследованиях. Термоэлектродвижущая сила является чувствительным типоморфным свойством пиритов и других рудных минералов — полупроводников и в последнее время широко используется при изучении минералов рудных месторождений.

Пирит относится к классу примесных полупроводников, и «чистые» пириты обладают дырочной (P) проводимостью [4]. Если в пирите присутствует примесь элементов с валентностью выше 2 (Ti^{+3} , Ni^{+3} , Cr^{+3} , Sn^{+4}), изоморфно замещающих железо (Fe^{+2}), то пирит приобретает электронную (N) проводимость. Двухвалентные ионы, входящие изоморфно в решетку, не меняют собственную дырочную проводимость пирита, а одновалентные ионы (Au^{+1} , Ag^{+1} , Cu^{+1} , Pb^{+1}) усиливают эффект дырочной проводимости.

В связи с тем, что возможность изоморфного вхождения элементов выше при высоких температурах, то следует ожидать, что среди пиритов высокотемпературных месторождений будут преобладать пириты с электронной проводимостью и наоборот, среди месторождений низкотемпературных, тем более осадочных, будут распространены пириты с дырочной проводимостью.

Пирит является одним из распространенных сульфидных минералов золоторудных месторождений различных типов. В каждом месторождении по времени своего образования проявляется от одной до нескольких генераций пирита, отвечающих определенным стадиям и ступеням минералообразования. Он проявляется в золотоносных кварцевых жилах, прожилках и гидротермально измененных породах. Поэтому с целью выявления особенностей пирита, связанных с золотым оруденением, установления геохимических различий и признаков, позволяющих отличить пириты одних золоторудных месторождений от других, были изучены термоэлектрические свойства пиритов из кварцевых жил и окколорудно измененных пород Коммунарковского, Балахчинского, Ольховского, Тарданского, Березовского, Любавинского и Многовершинного

золоторудных месторождений Сибири, Урала и Дальнего Востока. Геологические особенности месторождений достаточно подробно рассмотрены в литературе, и поэтому на этом вопросе здесь не останавливаемся. Следует лишь указать, что Коммунарское, Ольховское, Балахчинское и Тарданское месторождения размещаются в структурно-фациальной зоне салаирского цикла консолидации Саяно-Алтайской складчатой области; Березовское — в герцинидах Урала; Любавинское — в зоне мезозойской активизации древних складчатых структур Забайкалья, а Многовершинное связано с мезокайнозойским вулканизмом Тихоокеанского складчатого пояса. Месторождения относятся к жильным, штокерковым (Коммунарское, Балахчинское, Березовское, Любавинское, Многовершинное) и контактово-метасоматическим (Тарданское, Ольховское) типам и преимущественно тяготеют к вулканогенно-осадочным толщам различного возраста, разбитым на блоки продольными и поперечными разрывами и прорванными гранитоидными интрузиями. Золоторудные поля имеют складчато-блоковое строение и приурочены к узлам наибольшего усложнения складчатых и разрывных структур. Месторождения пространственно и, по-видимому, генетически связаны с гранитоидным магматизмом и размещены в приконтактных зонах или эндоконтактах гранодиоритовых интрузивов средних и малых глубин (до 5—1,5 км). По характеру околорудных процессов (развитие березитов, альбититов, мусковитых метасоматитов) и гомогенизации газожидких включений в кварцах (240—460°C) процессы минералообразования изучаемых месторождений относятся к высоко- и средне-температурным.

Изучение тэдс пиритов производилось на установке, смонтированной по схеме В. Г. Прохорова [4]. Замер эдс производился миллиампернанольтметром (тип Р-325). Электроды применялись медные, иглоидной формы, конструкция которых позволяет производить замеры как в отдельных кристаллах (до 1 мм), так и в штуфах и аншлифах. Измерение тэдс всех пиритов производилось при постоянной температуре (250°C). Определение температуры производилось с помощью хромель-капельной термопары.

На рис. 1 показаны гистограммы тэдс пиритов исследуемых месторождений, из которого видно, что пириты рудных жил и околорудно измененных пород обладают как электронной (P), так и дырочной (P) проводимостью. Исключение составляют пириты Любавинского месторождения, обладающие в основном только электронной проводимостью, и Многовершинного месторождения, обладающего только дырочной проводимостью.

Электронная и дырочная проводимость пиритов из кварцевых жил и околорудно измененных пород, встречающаяся в одном месторождении, говорит, по-видимому, о резко различных термодинамических условиях роста кристаллов, о двух резко разнотемпературных ассоциациях — низкотемпературной (150—200°C) для p -пиритов и высокотемпературной (больше 250—300°C) для n -пиритов [4].

Для гистограмм тэдс пиритов характерна многовершинность (особенно у n -пиритов), что указывает на наличие нескольких генераций пиритов в золоторудных месторождениях, которые отражают многостадийность, многоэтапность в их формировании.

По характеру распределения тэдс (рис. 1) у пиритов разных месторождений есть существенные различия и некоторая общность. Так, в Любавинском месторождении встречаются в основном n -пириты, а в Многовершинном — p -пириты. Причем, для Любавинских пиритов на гистограмме заметна двухвершинность в распределении тэдс, особенно для пиритов измененных боковых пород, что скорее всего указывает на

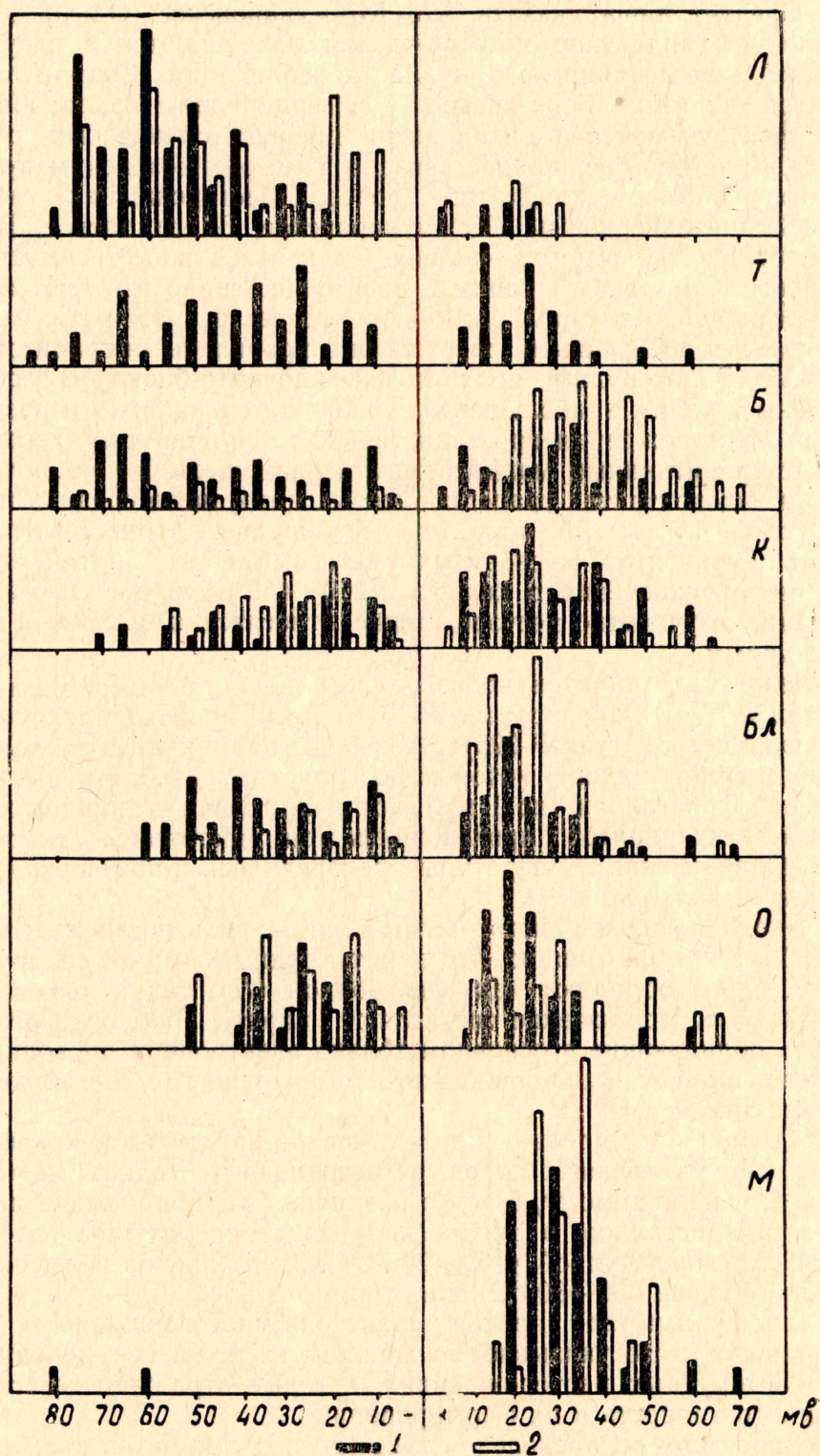


Рис. 1. Гистограмма тэс пиритов (месторождения: Л — Любавинское, Т — Тарданское, К — Коммунарское, Бл — Балахчинское, О — Ольховское, М — Многовершинное), 1 — из кварцевых жил; 2 — из окolorудно измененных пород

две генерации пиритов: раннюю, в связи с формированием гидротермально измененных пород, и позднюю, в связи с формированием кварцеворудных жил. У *p*-пиритов Многовершинного месторождения из кварцевых жил и околорудно измененных пород в распределении тэдс наблюдается левоасимметричная одновершинность и почти одинаковые модальные значения тэдс (30—35 мВ). Тем самым подчеркиваются близкие физико-химические условия отложения пиритов в жилах и вмещающих гидротермально измененных породах.

Для пиритов из вмещающих пород Березовского и Балахчинского месторождений характерна в основном дырочная поверхность, что, вероятно, обуславливается одинаковой степенью изменения вмещающих пород (березитизация). В березовских пиритах из вмещающих пород электронная проводимость выявляется в основном только в сколах кристаллов, что, по-видимому, можно объяснить нарушением структуры кристаллов. Пириты из кварцевых жил Тарданского, Березовского, Балахчинского, Коммунарковского и Ольховского месторождений имеют как *n*- так и *p*-проводимость, причем для коммунарковских пиритов характерной является *p*-проводимость.

Модальные значения тэдс пиритов для кварцевых жил и околорудно измененных пород, хотя и различны для разных месторождений, но в целом близки и в среднем равны для *n*-пиритов 10—25 мВ, для *p*-пиритов 20—40 мВ.

С целью выявления влияния формы кристаллов пирита на термоэлектрические свойства были исследованы крупные кристаллы пирита кубического и пентагондодекаэдрического габитуса Березовского месторождения (ввиду отсутствия крупных кристаллов по другим месторождениям таких исследований не проводилось). Было установлено, что большинство кристаллов кубического и пентагондодекаэдрического облика из околорудных измененных пород обладает дырочной проводимостью (рис. 2). Электронная проводимость зафиксирована в основном

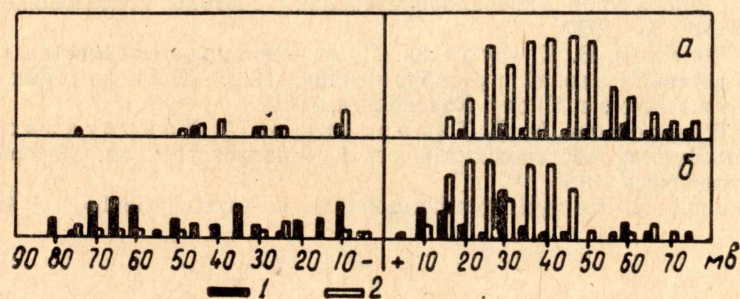


Рис. 2. Характер тэдс пентагондодекаэдров (а) и кубов (б) Березовского месторождения: 1 — из кварцевых жил; 2 — из околорудно измененных пород

на сколах кристаллов. Наоборот, пириты кварцевых жил имеют, как правило, кубический габитус и преобладающую электронную проводимость, т. е. характер тэдс пиритов одного месторождения не зависит от формы исследуемых кристаллов одной генерации.

На основании изучения термоэлектрических свойств пиритов золоторудных месторождений различных типов можно сделать следующие выводы.

1. Пириты золоторудных месторождений обладают электронной и дырочной проводимостью, и лишь на Любавинском и Многовершин-

ном месторождениях установлена только электронная и только дырочная проводимость соответственно.

2. Наличие в одном месторождении пиритов с электронной и дырочной проводимостью, возможно, указывает на различие в термодинамических условиях их формирования в разные стадии гидротермального процесса.

3. В характере распределения значений тэдс пиритов наблюдается многовершинность (особенно у *n*-пиритов), что, по-видимому, отражает наличие нескольких генераций пиритов.

4. В сколах кристаллов пирита с дырочной проводимостью чаще проявляется электронная проводимость, т. е. характер тэдс кристаллов пирита зависит от характера и степени деформаций кристаллов.

5. Пириты в форме (100) и (210) из вмещающих березитов Березовского месторождения характеризуются одинаковой дырочной проводимостью, а пириты тех же форм из жил — электронной проводимостью. Следовательно, характер тэдс пиритов одного месторождения не зависит от формы исследуемых кристаллов одной генерации.

6. По характеру тэдс пиритов золоторудных месторождений судить о температуре минералообразования без учета других факторов затруднительно.

7. Проведенные исследования показали, что пириты большинства гидротермально измененных пород золоторудных месторождений различных типов имеют близкие физические свойства с пиритами золото-кварцевых жил, т. е. их формирование происходило в близких условиях и, вероятно, в рудный этап минералообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Голосов. Возможности применения термоэлектрического эффекта для диагностики рудных минералов. — В кн.: Сов. геол., т. 9, 10, 1939.
 2. Г. А. Горбатов. Термоэлектрические свойства пирита и галенита и возможная связь с температурой минералообразования. Методы исследования минерального сырья. Тр. ВИМС, М., 1957.
 3. Г. И. Князев, В. К. Куделя. Полупроводниковые свойства галенитов и пиритов как критерий условий рудообразования. Изд. «Наукова думка», Киев, 1969.
 4. В. Г. Прохоров. Пирит. Красноярск, 1970.
 5. В. Г. Прохоров, А. Д. Титаренко, И. А. Хайретдинов. Особенности пиритов золоторудных месторождений юга Красноярского края. Материалы геол. конференции. Красноярск, 1966.
 6. F. G. Smith. The pyrit geothermometr. «Econom, Geol.», v. 42, № 6, 1947.
-